

Р. В. Фоминых¹, Г. В. Шимов^{1*}, А. С. Ефремова², Э. А. Лямина²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²ОАО «Каменск-Уральский завод по обработке цветных металлов»,

г. Каменск-Уральский

**g.v.shimov@urfu.ru*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН БРАКА МЕДНЫХ ШИН ПРИ ПРЕССОВАНИИ НА ЛИНИИ НЕПРЕРЫВНОЙ ЭКСТРУЗИИ «CONFORM-400»

В работе экспериментально исследован характер течения металла в очаге деформации при прессовании медных шин на линии непрерывной экструзии (ЛНЭ) «Conform-400». Подтверждена гипотеза исключающая преимущественное влияние температуры, скорости прессования и толщины облоя на возникновение пузырей и расслоений в медных шинах. Доказан факт затягивания окисленного слоя металла из колеса в форкамеру.

Ключевые слова: конформ, непрерывная экструзия, медные шины, внутренние расслоения, пузыри.

R. V. Fominykh, G. V. Shimov, A. S. Efremova, E. A. Lyamina

EXPERIMENTAL STUDY OF CAUSES OF REFUSED OF COPPER BUSBARES WHILE PRESSING ON THE LINE OF CONTINUOUS EXTRUSION "CONFORM-400"

In operation the character of a current of metal in the deformation center when molding copper busbares on the Conform 400 line of the continuous extrusion (LCE) experimentally is probed. The hypothesis excluding preferential influence of temperature, speed and value of a burr on origin of surface blowhole and lamination in copper busbares is confirmed. A fact of tightening of the oxidized metal layer from a wheel to the prechamber is proved.

Keywords: conform, continuous extrusion, copper busbars, lamination, surface blowhole.

ВВЕДЕНИЕ

Технология непрерывной экструзии CONFORM, предложенная Д. Грином в 1970 г. имеет ряд технических и экономических преимуществ, а также широкую сферу применения, причем особенно перспективной технология представляется в цветной металлургии [1].

Установки CONFORM с расширяющейся форкамерной матрицей (форкамерой) в настоящее время широко применяются для непрерывного прессования профилей из цветных металлов и сплавов, в том числе и в России, например, на Каменск-Уральском заводе ОЦМ при производстве медных шин из медной заготовки UPCUST [2]. Изучением технологии Conform и поиском оптимальных режимов прессования занимаются ученые по всему миру [3–6]. Особенно активно проводятся работы китайскими и корейскими исследователями [7, 8].

Несмотря на высокую производительность и технологичность линии непрерывной экструзии «Conform» готовые шины имеют дефекты по типу «внутренние расслоения», после термообработки на поверхности отпрессованной шины появляются дефекты типа «пузыри». Для поиска причин появления вышеуказанных дефектов и дальнейшего решения проблемы был проведен промышленный эксперимент по изучению характера течения металла в очаге деформации, а именно на границе инструмент-металл при переходе меди из желоба колеса в форкамеру.

Из-за сложного характера течения металла при прессовании с форкамерой теоретически сложно определить, как видоизменяется форма дефекта заготовки в очаге деформации. Особенностью большинства сплавов цветных металлов является то, что в них почти не происходит заваривание несплошностей в ходе пластического деформирования, поэтому любая несплошность в литой заготовке, которая не заполнена недеформируемой средой, меняет свою форму в очаге деформации, вытягивается и утоняется [9]. Из производственного опыта установлено, что преимущественно локализация дефектов типа «расслоение» происходит под поверхностью шины.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперимент проводился на промышленном оборудовании, применялся «способ штифтов», когда в заготовку внедряется инородный металл, схожий с ним по пластическим характеристикам, и в дальнейшем по локализации дефекта после прессования анализируется характер течения металла. В качестве металла искусственного дефекта был выбран сплав Л63. Предварительно были изготовлены образцы овальной формы из латуни разных размеров и толщин, которые при эксперименте внедрялись в литую заготовку.

Целью работы являлось исследование в ходе физического моделирования характера течения металла в очаге деформации и установление механизма, а также качественных и количественных характеристик перехода окисленного слоя металла из желоба колеса в пресс-изделие.

Заготовки с латунными образцами задавали в конце сменного задания ЛНЭ. Перед проведением прессования были подготовлены медные

заготовки мерной длины диаметром 20 мм с наклеенными либо внедренными латунными образцами из сплава Л63 в виде овала (рис. 1). Параметры заготовок с искусственными дефектами приведены табл. 1.

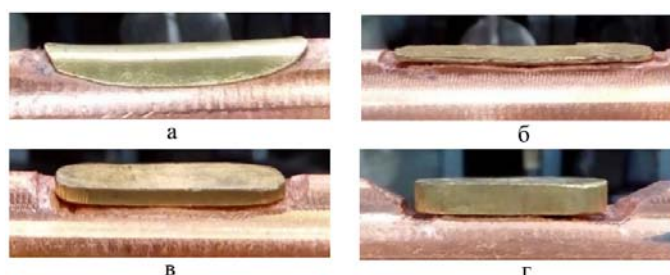


Рис 1. Искусственные дефекты из сплава Л63 в литой заготовке
а – образцы № 1, 5; б – образец № 2; в – образцы № 3, 7; г – образцы № 4, 8

Эксперимент длился в течение 4 минут. Фиксировались параметры процесса прессования, после прессования образцы отпрессованной шины отправлялись на анализ. Заготовки с искусственными дефектами подавались последовательно в желоб колеса. С целью фиксации стыка заготовок расстояние между ними составляло примерно 100–120 мм. Скорость вращения колеса во всех экспериментах составляла 4 об/мин.

Таблица 1
Параметры заготовок для проведения промышленного эксперимента

№ образ-ца	Искусственный дефект (сплав Л63)			Литая заготовка		Локализация искусственного дефекта	Примечание
	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Длина, мм	Расстояние от переднего торца, мм		
1	45	15	0,37	990	180	колесо-металл	
2	60	10	1,15	990	180	колесо-металл	
3	35	12	2,45	1010	185	колесо-металл	
4	30	13	4,8	1010	190	колесо-металл	
5	45	15	0,37	990	185	ролик-металл	
6	60	10	1,15	990	180	ролик-металл	в процесс экструзии не попал
7	35	12	2,45	990	180	ролик-металл	
8	30	13	4,80	1000	180	ролик-металл	
9				450			промежуток м/у обр. № 4 и № 5, без иск. дефекта

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все полученные образцы шин проходили визуальный осмотр, после чего характерные участки шин с дефектами вырезались и отправлялись на

металлографические исследования в заводскую лабораторию. Результаты анализа шин приведены в табл. 2.

Результаты визуального осмотра и металлографических исследований приведены в табл. 3. В результате лабораторного анализа было установлено, что в расслоениях под поверхностью шины присутствуют следы латуни, что однозначно описывает характер течения металла в очаге деформации и подтверждает факт затягивания окисленного слоя меди из желоба колеса в форкамеру.

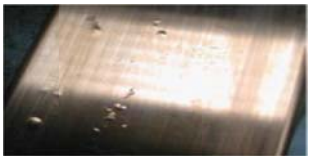




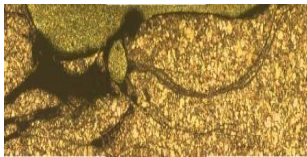


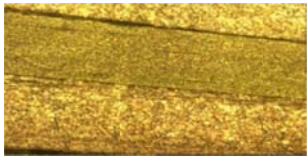
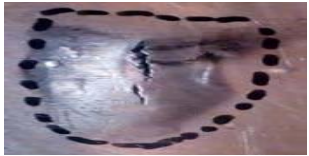

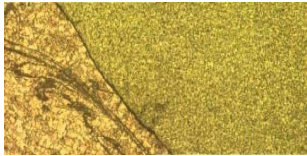


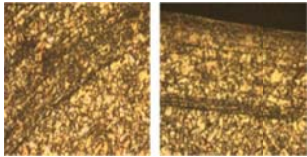

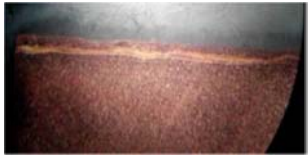
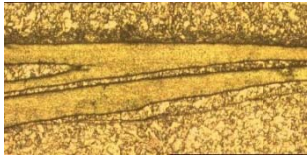




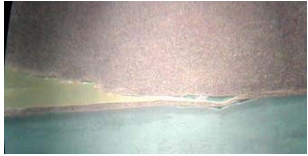
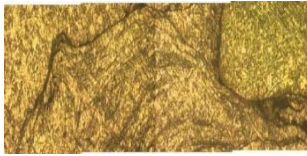


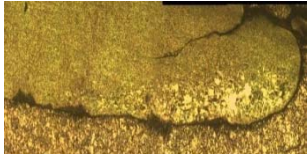
Таблица 2

Результаты анализа шин после прессования

№ обр.	Визуальный осмотр		Место расположения искусственного дефекта	Металлографические исследования		Примечания
	Верхняя поверхность	Нижняя поверхность		Глубина залегания латуни, мм	Глубина залегания расслоений, мм	
1	небольшой «пузырь»	локализованное вспучивание различной величины и формы	контакт «колесо-металл»	3	1,5	
2	небольшие царапины	локализованное вспучивание различной величины и формы, цвет неоднородный в некоторых местах темно коричневый	контакт «колесо-металл»	6,0	1,80	Грубая внутренняя несплошность
3	небольшой «пузырь»	локализованное вспучивание различной величины и формы	контакт «колесо-металл»	до 4	до 5	
4	небольшой «пузырь» с царапиной	локализованное вспучивание различной величины и формы	контакт «колесо-металл»	5,0	до 1,25	
9	небольшие «пузыри» ближе к левой грани	без явных отклонений		не обнаружено	до 1,45	без латунного образца
5	локализованное вспучивание различной величины и формы	небольшие «пузыри»	контакт «ролик-металл»	вытянутые в продольном направлении в виде полос, глубиной 0,65 и толщиной полос 0,185	внутренние, состоящие из инородных включений черного цвета	
6	вдоль всей шины мелкие «пузыри»	локализованное вспучивание различной величины и формы		Нитевидное латунное включение	4,0	без латунного образца
7	различные дефекты в виде локализованного вспучивания различной величины и формы, и углубленной царапины	вдоль всей шины мелкие «пузыри»	контакт «ролик-металл»	2,50	1,90	
8	локализованное вспучивание различной величины и формы	различные дефекты в виде локализованного вспучивания различной величины и формы, имеется пятно в виде спайки	контакт «ролик-металл»	не обнаружено	до 2,35 мм	

Таблица 3

Результаты визуального осмотра и металлографических исследований шин
после прессования

№ образца	Внешний вид поверхности	Внешний вид шлифов	Металлографические исследования
1			
2			
3			
4			
9			
5			
6			
7			
8			

Из табл. 3 видно, что внешний вид шлифов образцов 1, 3, 5, 7, 8 характеризуется расположением расслоений с латунью под поверхностью шины. Это свидетельствует о том, что поверхностные дефекты заготовки или, как в данном случае, не счищенный с колеса слой окисленной латуни с контакта колесо-металл или ролик-металл отрывается и переходит в форкамеры, локализуясь в дальнейшем в приповерхностных слоях шины. В образцах шины 2 и 4 латунь локализована в объеме шины, что объясняется большой толщиной искусственного дефекта, а также характером течения внутренних слоев заготовки при переходе в форкамеру. Данный эффект (непрерывный процесс отрыва металла от колеса) теоретически был описан в работе [10] и назван SSE (Surface Separation Effect) однако экспериментально доказан не был. Процесс отрыва металла от колеса проиллюстрирован на рис. 2.

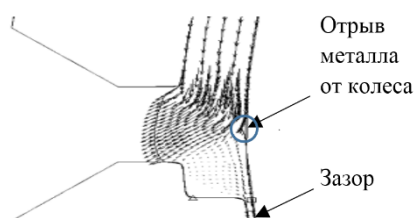


Рис. 2. Поле скоростей течения металла при отрыве от колеса

Таким образом в ходе промышленного эксперимента установлено, что причиной повышенного процента брака экструдированных медных шин является то, что окисленный слой металла с поверхности заготовки, а также поверхностные дефекты заготовки (при их наличии) проявляются в виде расслоений и пузырей на поверхности готовой шины. Глубина залегания пузырей, полученная в ходе эксперимента, соответствует промышленным данным, собранным при прессовании медных шин на ОАО «КУЗОЦМ».

ВЫВОДЫ

Экспериментально была подтверждена гипотеза, которая исключает преимущественное влияние температуры, скорости и величины зазора на возникновение пузырей и расслоений. Дефекты типа «пузыри» и «расслоения» являются следствием фактора формы очага деформации и наличия окисленного слоя металла в желобе колеса и не зависят (преимущественно) от величины облойного зазора. Однозначно можно считать, что доступной регулировкой параметров прессования невозможно достигнуть устранения брака шин, необходимы дополнительные технические решения в области модернизации инструмента прессования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы проектирования процессов непрерывного прессования металлов: монография / Ю. В. Горохов [и др.] Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. 268 с.
2. DEFORM-3D modeling in continuous extrusion of copper busbars for installation conform with the pre-chamber matrix / Y. V. Gorohov [et al.] // J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol. 2016, V. 9(6), P. 821-829.
3. Оптимизация размеров исходной заготовки для непрерывного прессования / В. М. Сергеев [и др.] // Металлы. 1993. № 1. С. 98–102.
4. Katajarinne T. Numerical simulation of flash formation in continuous rotary extrusion of copper / T. Katajarinne, T. Manninen, P. Ramsayc // Journal of Materials Processing Technology. 2006. Vol. 177. P. 604–607.
5. Virtual design and fabrication of a continuous extrusion setup with process analysis / K. S. Devendra [et al.] // International Journal of Engineering Research & Technology. 2012. Vol. 1. № 8. P. 1–8.
6. Tatsuya T. Precise extrusion technology by conform process for irregular sectional copper / T. Tatsuya, O. Kazuhiko, T. Saburou // Hitachi Cable Review. 2002. Vol. 21. P. 77–82.
7. Effect of die shape on H62 brass forming for continuous extrusion based on numerical simulation research / Li Bing [et al.] // The 11th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes. AIP Conf. Proc. 2013. Vol. 1532. P. 918–923.
8. Continuous extrusion and rolling forming velocity of copper strip / Y. Xin-bing [et al.] // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2013. Vol. 23. P. 1108–1113.
9. Ожгихин И. В. Совершенствование технологического процесса непрерывного литья заготовок из кислородсодержащей меди с целью повышения качества катанки: дис. ... канд. техн. наук / И. В. Ожгихин. Екатеринбург : Урал. федер. ун-т, 2015. 143 с.
10. Cho J. R. CONFORM process: surface separation, curling and process characteristics to the wheel diameter / J. R. Cho, H. S. Jeong // Journal of Materials Processing Technology. 2003. Vol. 136. P. 217–226.